

고효율 炭火 가스화 가스엔진 발전시스템의 개발

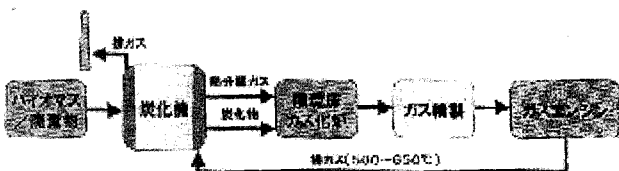
* 본 자료는 일본 열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임

1. 머리말

지구온난화문제가 점점 심각하게 받아들여져 2013년 이후의 기후변동대책에 관한 국제적인 틀의 구축에 관한 논의가 깊어지고있다. 환경백서에 의하면 일본의 온실효과가스 배출량의 약 9할은 에너지起源인 이산화탄소로서 그의 삭감을 위한 대책·시책의 하나로 「Biomass 이용의 추진」이 거론되고있다. Biomass 발전은 수천kW 이상의 대규모인것을 제외하고 발전효율이 낮고 採算性이 좋지않아 도입이 진척되지 않는것이 현재의 상태이다. 關西電力(주)과 (재)전력중앙연구소는 중소규모의 Biomass 발전시스템의 발전효율향상을 목적으로 착화력이 강한 가스엔진기술과 발전용 연료가스를 제조하는 Biomass화 기술(탄화기를 噴流床 가스화 爐의 전처리에 적용한 탄화가스화 爐를 조합하여 木質 Biomass 등을 연료로 하는 「고효율 탄화가스화 가스엔진 발전시스템」의 개발에 공동으로 착수하였다.

2. 시스템의 개요

개발한 탄화가스화 가스엔진 발전시스템의 기본 Flow를 [그림-1]에 표시하였다. 본 시스템은 주로 탄화기, 가스화로, 가스정제장치, 가스엔진 발전장치등 4개의 기기로 구성되어있다. 탄화기로 Biomass의 건조와 열분해를 하고 수분농도나 입도를 어느정도 조정하는 것으로 종류가 다른 Biomass의 혼합처리를 가능하게 하고있다. 이로 인하여 有償 Biomass뿐만 아니라 역으로 유상으로 떠맡는것 같은 폐기물의 혼합처리가 가능하므로 사업 채산성을 높임과 아울러 Biomass 최대의 과제라 할 수 있는 수집량 확보 곤



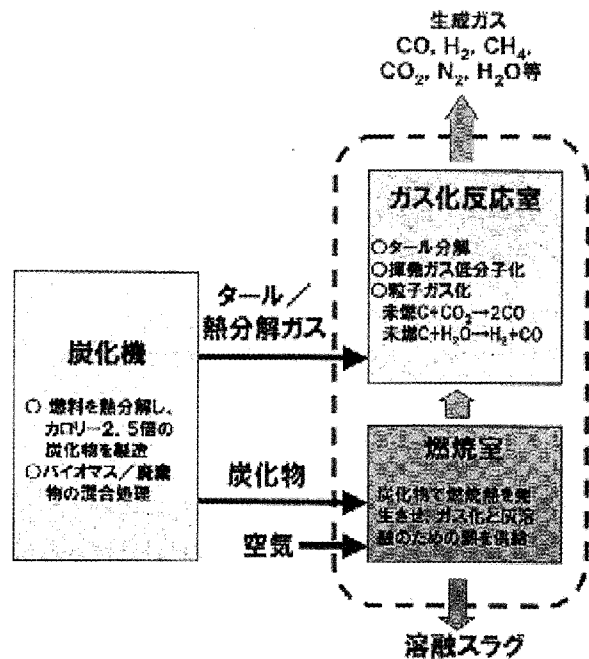
[그림-1] 탄화가스화 발전시스템 기본 FLOW

란, 계절변동 등에도 대응되는 시스템으로 된다. 또한 탄화기에서 필요한 열원은 발전장치의 배열로 조달하여 중소규모(10톤/일~수백톤/일) 이면서 고효율이라는 특징을 갖고있다.

3. 탄화가스화 실험설비의 개요

탄화가스화 실험설비는 (주)오카도라가 기히 상용화한 고속·종형 컴팩트한 탄화기와 (재)전력중앙연구소가 갖고있는 분류상 가스화기술을 조합한 것으로 2004년도부터 2005년을 거쳐 양자가 공동으로 개발한 것이다.

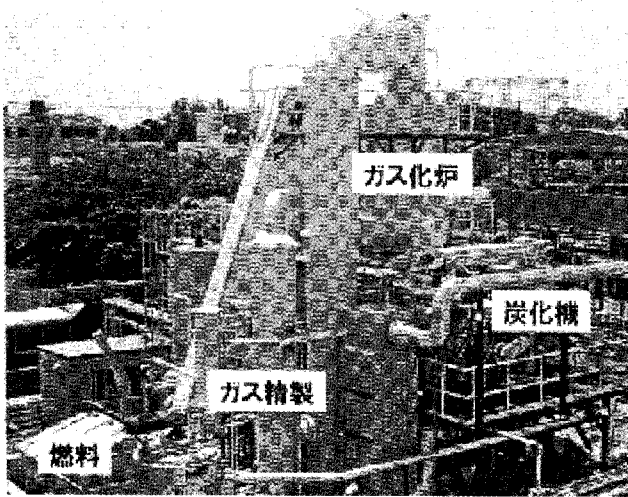
탄화기는 독자 Concept를 채택하여 고속처리가 가능하고 여러종류의 Biomass/폐기물을 고품위 연료화가 가능한 장치로서 많은 납입실적을 자랑하고있다. 한편 噴流床가스화로는 1000℃ 이상의 高温場에서 가스화 되므로 고정상이나 유동상형태의 가스로에 비하여 처리속도가 빠르고 Tar나 미연분 등이 거의 발생되지



[그림-2] 탄화가스화 爐의 개념

않고 연료 중 탄소의 이용효율이 높은 이른바 고효율이라는 특징을 갖고있다. 또한 비교적 응점이 낮은 화분은 가스화로 저부로부터 無害化 Slag로 배출되는것도 가능한 구조로 되어있다.

탄화가스화 실험설비의 사진을 [그림-3]에 표시하였다. 금회의 실증시험에 임하여 가스화로의 안전운전화 고효율화의 달성을 위하여 운전조건의 최적화와 가스화 온도의 고온화를 꾀하였다.



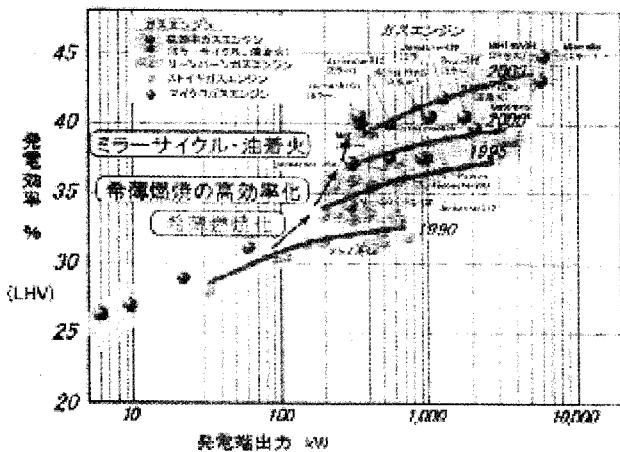
[그림-3] 탄화가스화 실험설비

4. 가스엔진 시험설비의 개요

가스의 소매 자유화 범위확대에 맞추어 關西電力(주)은 이 市場에의 參入을 위하여 2003년도부터 新瀧原 動機(주)와 공동으로 400kW급 고효율 가스엔진의 개발을 추진하여왔다.

4.1 엔진의 열효율 향상을 위한 要素

가스엔진은 [그림-4]에 표시한것과 같은 추이로 효



[그림-4] 가스엔진 발전효율 추이

율향상을 도모해 왔다. 최근에는 중형용량의 기술개발이 활발하여 발전효율이 40%가 넘는것이 개발되고 있다. 엔진의 열효율을 향상시키기 위한 요소는 대별하면 다음의 2항목으로 분류된다.

1) 연료의 연소개선

연소효율을 높이는 기본은 Piston이 상사점 근방에 위치하고 있을때 연료가스와 공기의 혼합기를 短期間, 瞬時に 폭발시킴에 의하여 투입연료의 미연분을 감소시킨다. 이것을 실현하는 기술로 희박연소기술, 油着火기술 등이 개발되었다.

2) 에너지 이용효율의 개선

연료의 연소에너지는 回轉에너지로 변환되는바 이때의 미변환분은 배기가스 등의 열에너지로 외부에 배출된다. 이들을 유효하게 활용하기위한 기술로 고효율 過給機器나 미러사이클 등의 시스템이 개발되어있다.

4.2 要素技術 開發

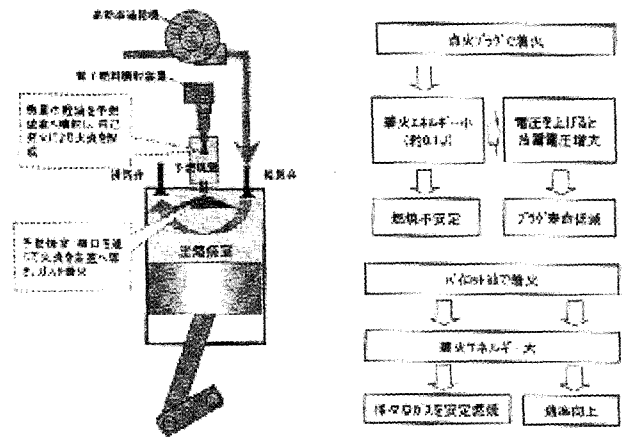
여기서는 개발된 미러사이클 가스엔진의 기본이되는 요소기술에 관하여 설명한다.

1) 희박연소 (Lean burn) 방식 채택

연소가스의 연소에 필요한 공기량의 대략 2배의 공기로 희석한 연료혼합기로 엔진을 움직이는 기술이다. 희박혼합기의 고압축비, 豫연소실 형상 및 점화 타이밍의 최적화를 도모함에 따라 미연소분의 감소와 배기가스의 저 NOx 화도 동시에 달성할 수 있었다.

2) 油着火 (Micro pilot) 방식의 채택

[그림-5]와 같이 예연소실에 소량의 경유 (열량은 가스연료의 1% 정도) 를 분사하여 自着火에 의하여 형성된 연소화염을 주 연소실 내에 분출시켜 연료가스에 점



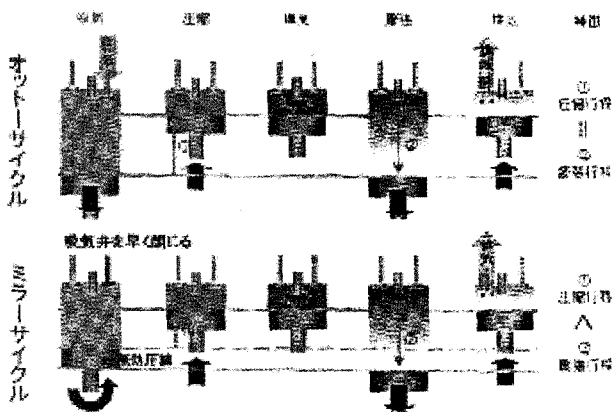
[그림-5] 油 着火의 원리

화하는 기술이다. 통상의 Plug 착화 (전기적 불꽃) 에 비하여 착화력이 수천배로 되어 보다 단시간에 연소가스를 연소시킬 수 있게된다.

이 기술이 확립됨에 따라 혼합연료의 폭발압력을 높이고 피스톤을 누르는 힘을 보다 Timing 좋게 할 수 있게 하는데 성공하였다. 또한 착화력이 강하므로 저칼로리가스의 운전에 유리하다는 특징이 있다.

3) 미러사이클의 채택

[그림-6]과 같이 엔진의 팽창행정을 압축행정보다 길게하는, 빨리 달는 미러사이클을 채택함에 따라 종래의 엔진과 동량의 연료로 보다 많은 에너지 (연료의 폭발에너지) 를 取出하는데 성공하였다.



[그림-6] 미러사이클 원리

4) 기타

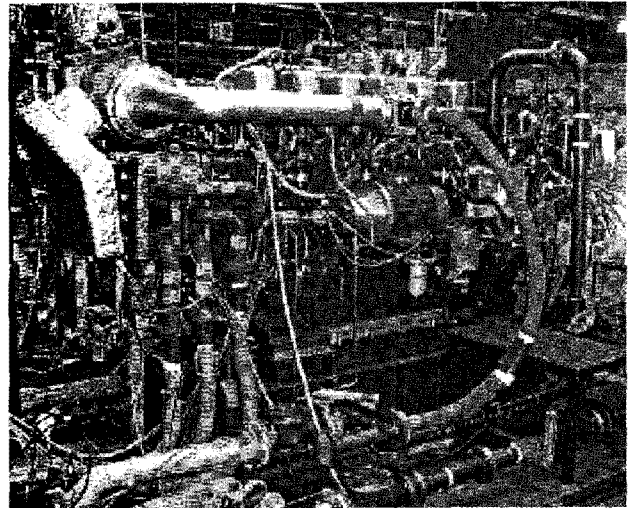
연소실내에 화염의 파급이 어려운 공간 (Dead Volume)이 있으면 이 공간에서 생긴 미연소가스가 배기공정에 배출된다. Dead Volume을 삭감하므로써 미연소가스를 억제할 수 있었다.

또한 급기변과 배기변이 동시에 열려있는 기간 (Overlap 기간)이 길면 연료가스의 분사가 생겨 연료가 소비되게 된다. Overlap 기간을 단축하여 분사되는 가스를 저감하므로써 효율향상을 꾀하였다.

4.3 도시가스의 性能試験

2004년도에는 新潟原動機(주) 太田工場에 [그림-7]에 표시한것과 같은 실증시험기(엔진본체)를 설계·試作하고 전향의 효율향상대책을 시험하여 40%를 훨씬 넘는 발전효율을 달성하였다.

2005년도 부터는 패키지 試作 후 關西 전력(주)의 시험소에 설치, 계통에 連携하여 耐久운전을 실시하였다.



[그림-7] 실증시험기 외관도

4.4 저칼로리가스 사양의 개조

큰 착화에너지를 갖고있는 Micro Pilot 착화방식의 특징을 활용하여 바이오가스 등의 다종 다양한 연료에도 대응되는 가스엔진의 개발에도 착수하여왔다. 탄화가스화 爐로부터 발생되는 저칼로리 연료가스에 대응할 수 있도록 여기서 획득한 노하우를 활용하여 연료가스 공급계통 등의 개조를 실시하였다. 역시 연료가스의 조성 등을 감안하여 정격출력을 320kW로 하였다. 가스엔진 시험설비를 [그림-8]에 나타냈다.

가스홀터는 가스화로의 가스제조량이 가스엔진의 정격출력 유지에 필요한 가스 소비량 보다 적으므로 가스화로 제조가스와 가스홀터 貯留가스와 동시 공급을 함으로서 가스엔진의 정격출력을 얻을 수 있도록 설치된 것이다.



[그림-8] 가스엔진 시험설비

5. 시험결과

5.1 탄화가스화 시험결과

개발된 시스템은 배열로 탄화하는 외에 바이오매스의 건조 열원을 공급하는것이 가능하게 되었다. 여기서 實機로의 운전을 想定하고 수분 10wt% 이하의 목질 바이오매스를 사용하여 탄화가스화 시험을 실시하였다. [표-1]에 공급연료의 성상을 표시하였다.

탄소전환율과 생성가스 발열량을 공기비로 정리한 결과를 [그림-9]에 표시하였다. 바이오매스 중의 수분농도의 영향을 파악하기위하여 편백목(수분40wt% 이하)의 시험결과를 함께 표시하였다. 또한 본 시험시의 대표성능을 [표-2]에 표시하였다.

시험결과로 부터 實機에 相當한 수분농도 (10wt% 이하)에서는 가스化爐 공기비 0.39 이상으로 탄소 전환율이 100%가 되고 생성가스 발열량은 1,150kcal/m³N

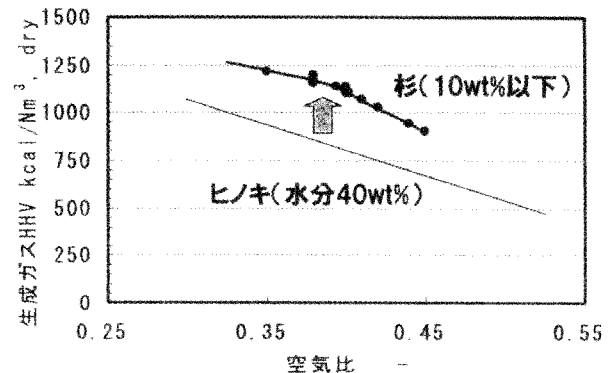
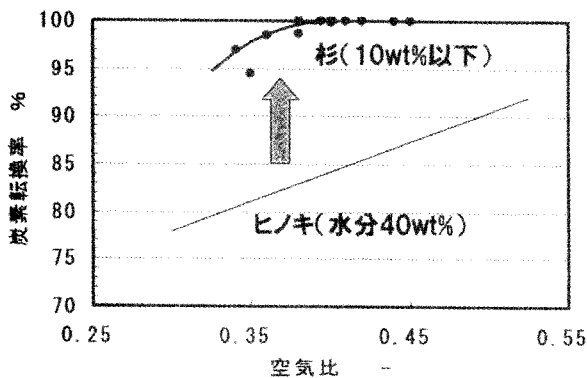
(HHV, 이하 동일함)를 초과하였다. 바이오매스 중의 수분농도가 저하하여 가스화로 내의 온도가 높으므로 동일 공기비 조건에서도 탄소전환율이 증가되고 따라서 생성 가스 발열량이 상승하는 결과가 되었다. 또한 實機에서는 가스화로로부터 발생하는 미연 입자를 Cyclon과 Gag Filter로 회수, 가스화로에 Recycle 하는것이 가능하고 시스템 전체로 탄소전환율 100%로 할 계획이다. 금회의 시험결과와 탄소 비란스에 의한 해석결과로부터 탄소전환율을 100%로 하였을시의 생성가스 발열량과 냉가스 효율을 100%로 보정하므로써 생성가스 발열량과 냉가스 효율이 상승, 공기비 0.37 이하에서는 생성가스 발열량은 1,230kcal/m³N 이상, 냉가스 효율은 70% 이상이 된다는것을 알게 되었다. 또한 공기비를 0.35까지 내리면 생성가스 발열량은 2,300kcal/m³N 를 초과하여 냉가스 효율은 75%에 달한다는것을 알게 되었다.

[표-1] 供試燃料의 性狀

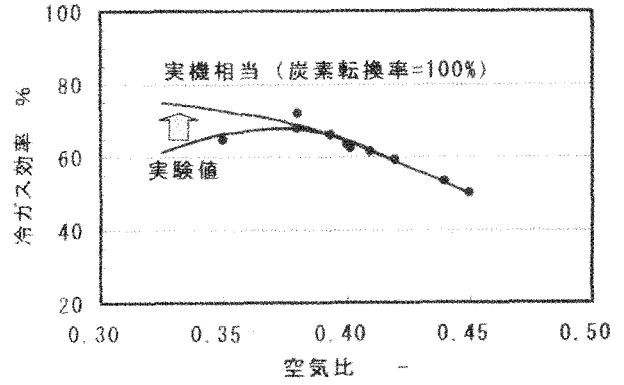
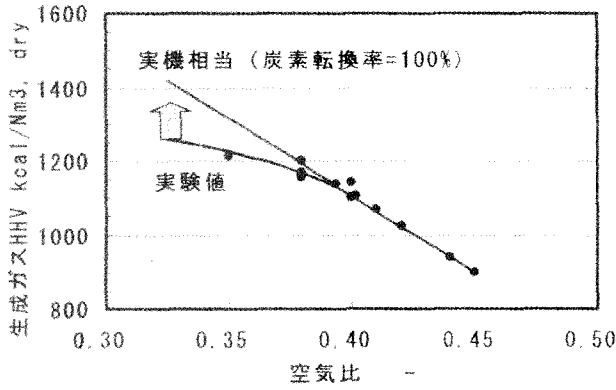
項目		單位	分析値
工業分析 (dry)	水分(*)	wt%	10以下
	灰分		0.2
	揮発分		84.2
	固定炭素		15.6
	高位発熱量	kcal/kg	4,790
元素分析 (daf)	C	wt%	50.7
	H		6.28
	N		0.07
	O		42.73
	S		0.02

[표-2] 試驗結果의 例

空氣比	-	0.39
生成ガス 發熱量 (LHV)	kcal/m ³ N	1,095
生成가스 發熱量 (HHV)	kcal/m ³ N	1,170
炭素轉換率	%	99以上
冷가스効率	%	67.5
CO	Vol%	20
H ₂		12
CO ₂		12
CH ₄		1.7
N ₂ 他		54.3



[그림-9] 수분의 가스화 성능에의 영향

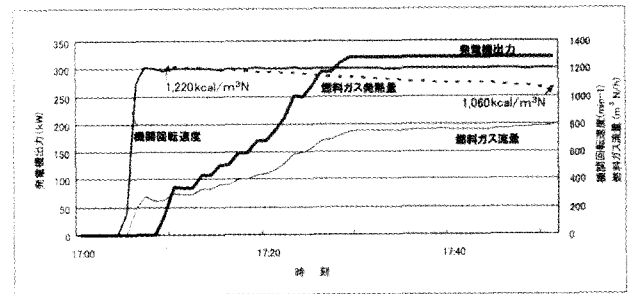


[그림-10] 실기에서의 가스화 성능 예상치

5.2 가스엔진에 의한 발전 실증시험 결과

가스화로부터의 생성가스를 수세탑 등으로 脫塵하고 가스엔진으로 공급하여 발전실증시험을 실시한다. 약 1,100kcal/m³N 의 생성가스 만을 사용하여 정격출력 320kW까지 안정적인 기동이 가능한것을 확인하였다. 가스엔진 單體의 발전효율은 정격출력 320kW로 34% 정도였다. 운전상황의 예를 [그림-11]에 표시하였다. 냉 가스효율은 대표성능으로 67.5%이므로 시스템 전체의 발전효율은 약 23%로 되어 이것은 수백 kW급의 바이오매스가스화발전에서는 세계 최고수준이다. 전항의 검토로부터 실기로는 25%를 초과할것을 기대한다.

일반적으로 바이오가스 원료는 성상이 불안정하므로 발전용 연료가스의 발열량이 변동하기 쉽다는것을 고려하여 900kcal/m³N 로부터 1,250kcal/m³N의 範圍에서 연료가스 발열량을 변화시켜 시험을 실시한 결과 가스엔진은 연료가스의 발열량 변동에도 대응하고 안정된 發電이 이루어지는것을 실증하였다.



[그림-11] 운전상황의 예

6. 맺는 말

현재 본 시스템의 고효율화와 더불어 本質 바이오매스 이외의 폐기물계 연료로의 실증시험도 포함하여 실용화로 향한 연구가 진행되고있다.

본 시스템은 국내의 자치단체, 식품가공공장, 산업폐기물 중간처리업 등에서의 이용 이외에 해외 CDM 案件에서의 이용 등 각종 사업에 경쟁력있는 발전시스템으로서 제공 할 수 있는것이라고 생각하고있다.

회원사 동정

(The State of Major Affairs in Membership Companies)

1. 제 30회 에너지절약 촉진대회 수상

지난 11월 7일 63빌딩 국제회의장에서 개최된 제 30회 에너지절약 촉진대회에서 수상한 회원사 및 관계자 여러분께 축하를 드립니다

○ 개인포상

- 철담훈장 : 에너지관리공단 옥용연 본부장
- 산업포장 : 한국지역난방공사 강원기 본부장,
(주)포스코 최승표 팀장